

## Секция 2 – Функциональные материалы

**РАЗРАБОТКА ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СВМПЭ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ***С.В.ПАНИН<sup>1,2</sup>, Д.Г.БУСЛОВИЧ<sup>1,2</sup>, Л.А.КОРНИЕНКО<sup>1</sup>, Ю.В.ДОНЦОВ<sup>2</sup>*<sup>1</sup> ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,<sup>2</sup> ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: buslovichdg@gmail.com

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), наиболее важными свойствами которого являются: низкая плотность, высокая молекулярная масса (в диапазоне 2-6 миллионов г/моль), не токсичность, природный химический состав, простая структура, низкое водопоглощение, отличные химические и физические свойства и высокая устойчивость к ионизирующему излучению [1] используется в областях, где требуется прочность, высокая стойкость к истиранию или низкое поверхностное трение [2]. Большая часть СВМПЭ производится в непрерывных реакторах с мешалкой с использованием обычных гетерогенных катализаторов Циглера-Натта [3]. Производимый СВМПЭ при такой высокой молекулярной массе проявляет чрезвычайно высокую вязкость в расплаве, что делает его малоприменимым для обработки стандартными для полимеров методами (шнековая экструзия, литье под давлением и др.) [4]. Добавление полипропилена (ПП) [5], полиэтиленгликоля (ПЭГ), ПЭ высокого давления (HDPE), альфа-токоферола (витамин Е), гидроксипатита (ГА) [6] может эффективно улучшить не только технологичность, но и противоизносные и реологические свойства, сохраняя ударную вязкость и стойкость к истиранию СВМПЭ. Однако все они в той или иной мере ухудшают структуру и механические свойства полимер-полимерных композиций.

В настоящей работе исследованы трибомеханические характеристики полимер-полимерных композитов на основе СВМПЭ с различным содержанием полипропилена с целью выбора оптимального состава композиции для использования ее в качестве фидстока в аддитивных технологиях получения изделий узлов трения в машиностроении.

В работе использовали порошок СВМПЭ марки GUR-2122 (Ticona, Германия) молекулярной массой 4,5 млн (в виде агломератов размером до 130 мкм с размером отдельных частиц 5-10 мкм) и порошок полипропилена марки PP21030 (ПТР=3,0 г/10 мин). Смешение порошков для изготовления образцов методом компрессионного спекания (горячего прессования) проводили в планетарной шаровой мельнице МР/0,5\*4 (ООО «Техноцентр», г. Рыбинск) с предварительным диспергированием компонентов в ультразвуковой ванне ПСБ-Галс 1335-05 (ЦУО ПСБ-Галс, Москва). С целью эффективного совмещения мелких (размером в десятки мкм) частиц СВМПЭ с крупными (сотни мкм) частицами полипропилена дополнительно проводили их экструзионное жидкофазное смешение (компаундирование) в двухшнековом экструдере «Rondol» (10 mm Twin Screw Extruders, Microlab). Температура на выходе экструзионной головки составляла  $T = 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Гранулы со средним размером 3-5 мм получали путем последующей механической рубки экструдата. Объемные заготовки полимерных композитов изготавливали: а) компрессионным спеканием двухкомпонентных порошковых смесей при давлении  $P = 10\text{ МПа}$  и температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  в лабораторной установке на базе гидравлического пресса «МС-500» (ООО «НПК ТехМаш»), оборудованного размыкаемой кольцевой печью; скорость охлаждения заготовок без снятия давления составляла  $5\text{ }^{\circ}\text{C/мин}$ ; б) компрессионным спеканием гранулята двухкомпонентных смесей при тех же условиях; в) методом FDM (Fused Deposition Modeling) из гранул на лабораторном принтере ArmPrint – 2 (НИ ТПУ, Томск) с диаметром сопла микроэкструдера 0,4 мм; температура стола, верхней и нижней областей подачи филамента (гранул) составляла  $T = 90, 160\text{ и }200\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно; скорость послойного нанесения и толщина наносимого слоя материала составляла 20 мм/с и 0,3 мм соответственно. Из полученных плиток размером 65×70×10 мм с помощью фрезерного станка с числовым программным управлением изготавливали образцы требуемой формы и размеров. Механические характеристики образцов определяли

при разрывных испытаниях на электромеханической испытательной машине «Instron 5582» (Instron, Великобритания) при растяжении образцов в форме двойной лопатки. Объемный износ образцов в режиме сухого трения скольжения определяли по схеме «вал-колодка» на машине трения 2070 СМТ-1 (ПО "Точприбор", г. Иваново). На образец действовала нагрузка  $P = 60$  Н (контактное давление  $P_{\max} = 9,7$  МПа), а скорость скольжения задавалась равной  $V = 0,3$  м/с. Контртело из стали ШХ15 имело форму диска диаметром 35 мм и шириной 11 мм. Температуру контртела измеряли бесконтактным ИК-термометром СЕМ DT-820 (Shenzhen Everbest Machinery Industry Co., Ltd., Китай). Шероховатость поверхности контртела составляла 0,2-0,25 мкм.

Исследованы трибомеханические характеристики полимер-полимерных композитов, полученных различными методами (горячее прессование и послойное экструзионное спекание). На основе проведенного сравнительного анализа показано, что экструдированные СВМПЭ композиты, полученные методом 3D-печати, по трибомеханическим характеристикам (износостойкость, коэффициент трения, модуль упругости, предел текучести, предел прочности, относительное удлинение до разрушения) превосходят композиты, полученные горячим прессованием порошковых смесей, что обусловлено более однородным распределением полипропилена в сверхвысокомолекулярной матрице. Установлено, что наиболее эффективным составом с позиций сохранения трибомеханических характеристик и получения необходимой текучести расплава (ПТР) является композит «СВМПЭ+20 вес.% РР». Полученные характеристики позволяют рекомендовать данный композит в качестве фидстока для получения изделий триботехнического назначения для аддитивных технологий производства изделий сложной формы.

**Благодарности.** Работа выполнена по плану фундаментальных научных исследований государственных академий наук 2013-2020 гг. и гранту президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-5875.2018.8. Авторы выражают благодарность РФФИ за финансирование исследования в рамках проектов № 18-58-00037.

#### **Список литературы**

1. Stephens C.P., Benson R.S., Esther Martinez-Pardo Ma., Barker E.D., Walker J.B., Stephens T.P. The effect of dose rate on the crystalline lamellar thickness distribution in gamma-radiation of UHMWPE // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2005. - Volume 236, Issues 1–4. – p. 540-545.
2. S. Kurtz, “High Pressure Crystallized UHMWPEs,” in UHMWPE Biomaterials Handbook: 3-rd Edition, edited by Steven M. Kurtz (William Andrew Publishing, Norwich, NY, 2016), pp. 434-448.
3. Padmanabhan, S., Sarma, K.R., Sharma, S., Synthesis of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Using Traditional Heterogeneous Ziegler-Natta Catalyst // Systems Ind. Eng. Chem. Res. – 2009. - №48. – p. 4866–4871.
4. Chen J., Li H. Morphology and Mechanical Properties of Injection-Molded Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene/Polypropylene Blends and Comparison with Compression Molding Meiju // Journal of Applied Polymer Science. – 2009.- №111. – p. 890–898.
5. Dizon J. R. C., Espera A. H., Chen Q., Advincula R. C. Mechanical characterization of 3D-printed polymers // Addit. Manuf. – 2018. - № 20. – p. 44-67.
6. Ansari M. H. B. M., Ibrahim M. H. I. B. Thermal Characteristic Of Waste-Derived Hydroxyapatite (HA) Reinforced Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) Composites For Fused Deposition Modeling (FDM) Process // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2016. - №165. – p. 012014-1 012014-15.